The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	積層欠陥エネルギーの異なる金属の摩擦攪拌接合(FSW)中の微細組織形成
Author(s)	劉, 小超
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/70755
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　劉　小超　　）	
論文題名	積層欠陥エネルギーの異なる金属の摩擦攪拌接合(FSW)中の微細組織形成

論文内容の要旨

本研究では、積層欠陥エネルギー（SFE）の異なる金属において、摩擦攪拌接合（FSW）中の微細組織の形成メカニズムを解明することを目的とした。FCC構造では、高いSFE を有する純Al、中程度のSFEを有する純銅及び低いSFEを有するCu-30Znを供試材として用いた。BCC構造では、純鉄を供試材として用いて、FCC構造の場合と比較した。

第1章は、序論であり、本研究の目的と本論文の構成について述べた。

第2章では、最初にFSWの原理、特徴及び現状について述べた。次に、金属材料の塑性変形、回復、再結晶、粒成長及び集合組織について述べた。最後に、FSW中の微細組織形成のメカニズムに関する従来の研究について概説した。それらの研究結果を踏まえて、急速冷却FSW及びその後の短時間アニーリングを組み合わせた研究方法を提案した。

第3章では、FSW中の微細組織の形成経路を調査するために、2つの異なるアルミニウム合金を突き合わせて、ツールを一方から他方へ移動させる実験方法を行った。FSW中で、材料がツールと共に流れる回転流動領域は、主にショルダー影響部で発生することが確認された。回転流動領域は、中空の逆円錐状の形態であり、継手の大部分は、回転流動領域以外の材料流動によって形成されることを示した。

第4章では、高いSFEを有するFCC金属の純アルミニウムを対象としてFSW中の微細組織の変化を、回転流動領域を除いて、塑性変形段階と冷却段階でそれぞれ調査した。初期の塑性変形段階では、転位の蓄積と再配列によって、亜結晶粒が形成した。ひずみ量の増加と共に、層状の結晶粒からなる組織がgrain subdivisionによって形成された。材料がツールの後側へ流動すると、結晶粒回転による連続動的再結晶によって層状の結晶粒は等軸状の結晶粒に変化した。冷却段階の間、{112}⟨110⟩方位を有する結晶粒が優先的に成長した。

第5章では、中程度のSFEを有するFCC金属の純銅を対象として、FSW中の微細組織の変化を材料流動の経路に沿って調査した。予熱段階では、加工硬化した母材において、不連続静的再結晶と粒成長が起こった。加速流動段階では、ひずみの増加に伴い、塑性変形、不連続動的再結晶、僅かな連続動的再結晶及び積層欠陥誘起双晶によって結晶粒は著しく微細化された。減速流動段階では、ショルダー影響部において、応力状態が緩和状態から圧縮状態へと変化する間、結晶粒は一旦、粗大化するが、最終的に僅かに微細化された。最後に、アニーリング段階では、プローブ影響部の微細組織は著しいアニーリングを受け、再結晶微細組織が得られた。

第6章では、低いSFEを有するFCC金属のCu-30Zn合金を対象として、FSW中の微細組織の変化を材料流動の経路に沿って調査した。継手上部の結晶粒微細化は主に、塑性変形、不連続動的再結晶、高角粒界移動中の双晶形成及び塑性変形中の双晶関係の消失によって起こった。一方、下部では塑性変形中に変形双晶の双晶関係が失われることによって不連続動的再結晶の核生成サイトとなり、結晶粒の微細化に寄与した。材料流動中、熱活性化された高角粒界の移動中にアニーリング双晶の形成と塑性変形中の双晶関係の消失が生じ、動的回復も伴った。自然冷却段階のアニーリングにおいて通常の粒成長のみが起こった。

第7章では、BCC金属の純鉄を対象としてFSW中の微細組織の変化を、材料流動経路に沿って、低入熱と高入熱条件で調査した。急速冷却FSWにより、低入熱及び高入熱条件で、不完全及び完全な再結晶微細組織がそれぞれ得られた。回転ツールの前方での変形段階では、連続と不連続動的再結晶が、低入熱及び高入熱条件の両方で同時に起こった。材料流動段階では、微細組織の変化は、低入熱条件において、塑性変形、動的再結晶、動的回復及び高角粒界の移動が起きたが、高入熱条件において、塑性変形、動的再結晶及び粒成長が動的にバランスした。冷却段階では、正常な粒成長が低入熱条件と高入熱条件の両方で起こるが、低入熱条件の場合、アニーリング時間が短いため、正常粒成長は僅かであった。

第8章では、本論文の総括を行った。積層欠陥エネルギーの減少につれて、結晶粒微細化のメカニズムは、順番に、連続動的再結晶、不連続動的再結晶と連続動的再結晶、不連続動的再結晶に変化する。変形集合組織は積層欠陥エネルギーと無関係であり、ひずみ速度のみに依存する。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　劉　小超　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	藤井　英俊
	副 査	教授	小泉　雄一郎
	副 査	教授	伊藤　和博
	副 査	准教授	柳楽　知也

論文審査の結果の要旨

本研究では、積層欠陥エネルギー（SFE）の異なる金属において、摩擦攪拌接合（FSW）中の微細組織の形成メカニズムを解明することを目的としている。FCC 構造では、高い SFE を有する純 Al、中程度の SFE を有する純銅及び低い SFE を有する Cu-30Zn を供試材として用い、BCC 構造では、純鉄を供試材として用いている。本研究で得られた主たる知見を以下に総括する。

第 1 章は、序論であり、本研究の目的と本論文の構成について述べている。

第 2 章では、最初に FSW の原理、特徴及び現状について述べている。次に、金属材料の塑性変形、回復、再結晶、粒成長及び集合組織について述べている。最後に、FSW 中の微細組織形成のメカニズムに関する従来の研究について概説している。

第 3 章では、2 つの異なるアルミニウム合金を突き合わせて、ツールを一方から他方へ移動させる実験を行い、FSW 中の微細組織の形成経路を調査している。FSW 中で、材料がツールと共に流れる回転流動領域は、主にショルダー影響部で発生することを明らかにしている。回転流動領域は、中空の逆円錐状の形態であり、継手の大部分は、回転流動領域以外の材料流動によって形成されることを明らかにしている。

第 4 章では、高い SFE を有する FCC 金属の純アルミニウムを対象として FSW 中の微細組織の変化を、回転流動領域を除いて、塑性変形段階と冷却段階でそれぞれ調査している。結晶粒回転による連続動的再結晶によって微細な等軸状の結晶粒が形成されることを明らかにしている。

第 5 章では、中程度の SFE を有する FCC 金属の純銅を対象として、FSW 中の微細組織の変化を材料流動の経路に沿って調査している。材料流動の特徴に従って主に予熱段階、加速流動段階、減速流動段階、アニーリング段階に分けられ、加速流動段階では不連続動的再結晶によって結晶粒が著しく微細化されることを明らかにしている。

第 6 章では、低い SFE を有する FCC 金属の Cu-30Zn 合金を対象として、FSW 中の微細組織の変化を材料流動の経路に沿って調査している。結晶粒微細化は、継手上部では、塑性変形、不連続動的再結晶、焼鈍双晶形成および焼鈍双晶粒界から高角粒界への変化によって起こり、継手下部では塑性変形中に変形双晶粒界が高角粒界に変化することによって起こることを明らかにしている。

第 7 章では、BCC 金属の純鉄を対象として FSW 中の微細組織の変化を材料流動経路に沿って、低入熱と高入熱条件で調査している。材料流動段階において、低入熱条件では、塑性変形、動的再結晶、動的回復及び高角粒界の移動が起こるが、高入熱条件では、塑性変形、動的再結晶及び粒成長が動的にバランスすることを明らかにしている。

第 8 章では、本研究で得られた結果を総括している。

以上のように、本論文は SFE の異なる金属の FSW 中の微細組織の形成機構を理解する上で重要な知見を得ており、材料工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。